

論文の内容の要約

氏 名	林 暁嵐
学位の種類	博士 (農学)
学府又は研究科・専攻	連合農学研究科 農学環境工学専攻
指導を受けた大学	東京農工大学
学位論文名	水田・湿地土壌における窒素除去速度に与える要因とその推定方法

【論文の内容の要約】

窒素は人間や動植物の体内にあるタンパク質、アミノ酸、核酸などに含まれており、生命体にとって必要不可欠な元素である。しかし、今では大量な「反応性の高い」窒素（反応性窒素, reactive nitrogen; N_r ）が地球環境中に放出されるようになり、環境へ放出する N_r はすでに地球の許容量を超え、さまざまな環境問題を引き起こしている。水田や湿地は湛水することにより、表層の作土層に酸素を含む好気的な土層とほぼ無酸素状態の嫌気的な土層ができる。肥料として施用された NH_4-N は好気的な層では硝化され NO_3-N となり、さらに嫌気的な層で N_2 に還元（脱窒）される。水田や湿地は地球上で脱窒反応が最も活発な場所であり、農業活動由来の窒素を効果的に除去することができるため、水域への環境負荷の軽減に貢献できると考えられている。しかし、水田・湿地の窒素除去能力（特に脱窒反応）は、水温、滞留時間、土壌の種類および流入窒素濃度などの多くの要因にも影響されるため、正確な窒素除去速度 ($g\ m^{-2}\ d^{-1}$ (1日, $1\ m^2$ 当たりの窒素除去量 (g) とする)) の推定は難しい。上記の背景を受けて、本研究では、水田や湿地の湛水土壌が有する窒素除去メカニズムの要因の検討と簡便でかつ正確な窒素除去速度の推定方法の開発を目的とした。

本研究は全5章で構成している。第2章では、脱窒反応は湛水中の NO_3-N が土壌表面の酸化層を通過し還元層で起こることに着目し、湛水土壌の土層中の溶存酸素 (DO) 濃度が水田の窒素除去に与える影響を調べた。調査は、調査圃場は関東地方の谷津田谷頭部に設置した浸透が無い無植生の通年湛水水田で2014～2016年の3年間にわたり11回行った。窒素除去能力が高いといわれる夏季を中心に湛水土壌表層の深さ方向別の詳細な DO 濃度分布を測定した。DO 濃度測定結果をもとに、DO 濃度 $1.0\ mg\ L^{-1}$ を超える層を好気層とし、その厚さを計測した。土壌の詳細な DO 濃度分布測定により、水田の表層土壌を好気層と嫌気層に分け、アセチレン阻害法を用いて両層の脱窒活性を測定した。その結果、好気層の脱窒活性はほぼなく、湛水土壌での窒素除去は嫌気層の脱窒活性によるもので、温度依存性があることを確認できた。また、好気層厚の増減は、土壌微生物による有機物分解に伴

う土壌酸素消費と水中・光合成からの酸素供給のバランスで生じている複雑な系であるが、温度に影響されることが確認された。さらに、滞留時間を考慮した 24 時間前までの平均積算時間気温（以下「平均積算時間気温（24 h）」）と調査時刻の水温を用いて計算した窒素除去速度と実測値の R^2 値を比べた結果、平均積算時間気温（24 h）の R^2 値が高かった。以上のことから、温度は嫌気層の脱窒活性や土壌の好気層の生成・変動にも深く関わるなど湛水土壌の窒素除去への影響は複雑で重要な要因であることを確認した。

第 3 章では、第 2 章の結果を受けて、微生物活性が水田の滞留時間を考慮した温度に影響されるとして、田渕ら（田渕ら，1993；平野，2007；平野ら，2006）によって提案された窒素除去式に使われる窒素除去係数の温度変数 T に着目して改良を試みた。調査は 2 章の同じ圃場で 2015 年 1 月から約 2 年間の窒素除去速度調査を行った。温度変数を試験区の調査時刻の水温、滞留時間を考慮した温度として土壌深さ別地温（0～10 cm）、アメダス気温データを用いた平均積算時間気温とし、窒素除去能力の推定精度の向上を試みた。窒素除去速度の各計算値と実測値の関係を R^2 値で評価した結果、土壌深さ 10 cm 地点地温と調査時刻から 40 時間前までの平均積算時間気温との R^2 値が最も高かった。また、光条件の窒素除去係数 a_l に温度補正係数 $D=1.3$ を導入し、温度変数 T に 10 cm 地温または 40 時間前までの平均積算時間気温を用いることで良い推定精度が得られた。さらに、平均積算時間気温はアメダス気温から算出された温度で、現地測定温度が無い場合でもアメダス気温で窒素除去速度を推定できることがわかった。

第 4 章では、第 3 章で得られた窒素除去式は、流入窒素濃度と窒素除去速度の比例から得られた関係式であることに対し、湛水土壌の脱窒反応の非線形性を考慮に入れたモデル式の構築を試みた。本章は、非ミカエリス・メンテン型の反応速度式としてヒル式を採用し、日本国内の水田土壌の窒素除去能に関する文献値でパラメータフィッティングを行った。文献データによるモデルの検証を行った結果、収支誤差率では比較的良好な結果を得られたが、相対誤差率は大きくなった。また、3 章の圃場調査で得られたデータによる検証では、収支誤差率と相対誤差率とも 3 章の窒素除去式で計算したものより悪かった。また、本モデルでも窒素除去速度は、調査時刻の水温より平均積算時間気温を用いて計算した方が関係性が高い結果となった。

第 5 章では、まとめと今後の課題を整理した。今後の課題として、第 2 章は好気層と水田の窒素除去能力について検討したが、好気層厚の変動は多变的で、特に温度が与える影響は複雑なものだった。今後はより調査回数を増やし、観測を行う必要がある。第 3 章と第 4 章ではそれぞれ窒素除去モデルを作成し、実測データを用いて検証を行った。しかし、本研究の試験区は常時湛水を行っており、人工湿地に近い環境で管理しているため、通常の水田とはいくつか異なる条件がある。そのため、今回得られた窒素除去式により、水田・湿地の窒素除去速度を検討するには、他の地域や条件の異なる圃場での検証が必要である。また、温度の検討では、土壌深さ別の地温の妥当性の検討やアメダス気温を用いる場合は調査地とアメダス気温地点の距離との関係の検討が必要である。